ИСТОЧНИКИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Использование газоанализаторов для оптимизации режимов горения топлива

Г.М. Тележко, заместитель директора, Е.В. Хойна, ведущий специалист, ООО «Информаналитика», г. Санкт-Петербург

В большинстве применяемых в настоящее время устройств сжигания газового топлива оптимизация режима горения обеспечивается путем поддержания соотношения расходов газа и воздуха (давления перед горелочным устройством) в соответствии с режимной картой. Такой способ является недостаточно эффективным, он не позволяет вести учет изменения температуры и влажности воздуха, теплотворной способности и температуры газа и ряда других внешних факторов. В связи с этим, при составлении режимных карт допускают наличие значительного избытка воздуха, чтобы ни при каких условиях не допустить возникновения химнедожога. В результате в некоторых режимах количество воздуха превышает оптимальное в 1,5-2 раза, что увеличивает расход электроэнергии на дутье и приводит к необходимости нагрева избыточно подаваемого воздуха, т.е. к дополнительному расходу топлива.

Разработанные автоматические системы оптимизации соотношения «топливо-воздух», построенные с использованием стационарных газоанализаторов, ведут процесс регулирования по величине содержания кислорода в отходящих газах. На некоторых типах котлов эти системы регулирования предусмотрены проектной документацией в обязательном порядке. Однако эти системы, как правило, не работают в режиме регулирования, а газоанализатор используется в мониторинговом режиме, что обусловлено рядом причин:

- концентрация кислорода в дымовых газах зависит не только от интенсивности дутья, но и от других условий эксплуатации (неконтролируемый подсос воздуха, изменение характеристик горелок в процессе эксплуатации, неидентичность горелок в многогорелочных котлах, изменение теплотворной способности топлива, колебания влажности воздуха), что, в свою очередь, снижает эффективность работы системы с регулированием по величине содержания кислорода;
- ограниченное распространение контроллеров, имеющих устойчивые (надежные) алгоритмы работы с газоанализаторами (многие из разработанных алгоритмов регулирования не учитывают переходные процессы в топке при изменении мощности).

Изучение процесса горения газообразного и жидкого топлива показывает, что при недостатке кислорода проявляется резкое повышение концентрации оксида углерода (CO). Соответственно, система регулирования процесса горения, основанная на измерении концентрации CO, будет обладать более высокой чувствительностью к отклонению режима горения от оптимального. Регулирование в этом случае сводится к поддержанию режима на грани химнедожога, что позволяет учитывать изменение большинства других факторов, влияющих на качество сжигания топлива.

Применение вышеуказанного метода, до недавнего времени, сдерживалось отсутствием достаточно надежного, простого и быстрого способа измерения концентрации CO. Системы с отбором и последующим охлаждением пробы, измеряющие концентрации по поглощению в инфракрасной области спектра, либо с помощью электрохимических сенсоров, имели низкое быстродействие, были сложны в эксплуатации, требовали постоянного контроля системы удаления конденсата и пыли. Попытки использовать для измерения неравновесные электрохимические методы оказались неудачными вследствие нестабильности характеристик датчиков и невозможности исключить влияние параметров анализируемой среды (температуры, влажности, состава газа).

В последнее время были разработаны приборы с использованием твердотельных датчиков, которые способны быстро и воспроизводимо измерять содержание CO в дымовых газах и печной атмосфере. Особенностью одного из таких газоанализаторов, разработанного при участии специалистов компании «Информаналитика», является использование керамических сенсоров, определяющих содержание CO и O_2 при температурах анализируемого газа до 1000 °C, что позволяет использовать схему ди-

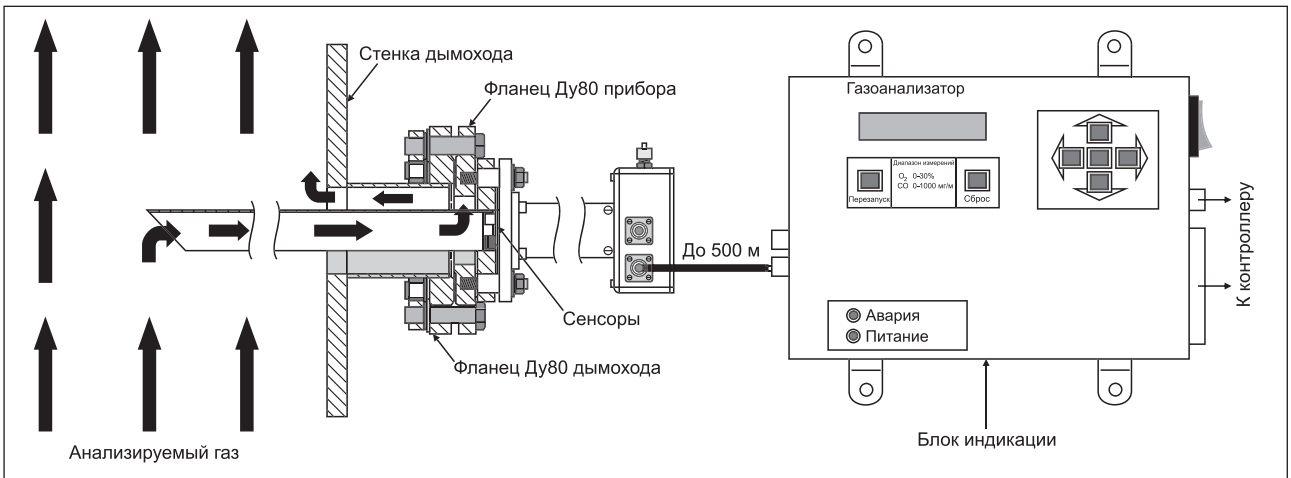

Рис. 1. Схема динамического отбора пробы.

Таблица 1. Диапазоны измерения и погрешности измерения газоанализатора.

Определяемый компонент	Диапазон измерения	Предел допускаемой основной погрешности	
		абсолютный	относительный
Оксид углерода (CO)	0-100 ppm	±15 ppm	–
	100-1000 ppm	–	±15%
Кислород (O_2)	0-2%	±0,3%	–
	2-25%	–	±15%

намического отбора пробы (см. рис. 1): за счет набегающего потока отходящих газов, в скошенном оголовке трубы пробоотборного устройства возникает избыточное давление, направляющее часть анализируемого потока к сенсорам; после прохождения вблизи сенсоров эта часть потока возвращается в общий поток отходящих газов.

Использование метода динамического отбора пробы позволяет существенно упростить и снизить стоимость системы, что делает эффективным ее использование даже для энергетических установок невысокой мощности. Ограничение в использовании метода динамического отбора пробы – скорость потока, при которой обеспечивается надежная подача пробы к сенсорам. Как показал опыт, достаточной является скорость газового потока 3 м/с. Сочетание динамического отбора пробы и использование высокотемпературных сенсоров позволяет избавиться от проблем, связанных с конденсацией продуктов горения в системе отбора пробы, и, кроме того, существенно увеличивает быстродействие системы в целом.

Передача данных от первичного преобразователя к блоку индикации осуществляется при помощи интерфейса RS-485. Блок индикации позволяет считывать текущие значения концентрации CO и O_2, кроме этого, он служит для формирования управляющих токовых сигналов 4-20 мА. Расстояние, на которое может быть отнесен блок индикации от места монтажа пробоотборного устройства и первичного преобразователя, достигает 500 м, а при необходимости и более, хотя такой случай представляется маловероятным. Диапазоны измерения и погрешности измерения газоанализатора приведены в табл. 1.

Измерение оксида углерода быстродействующим твердотельным датчиком является наиболее удобным методом определения химнедожога (высокое быстродействие, отсутствие необходимости обслуживания и т.п.). На графике (рис. 2) приведены результаты измерения концентрации O_2 и CO при изменениях расхода (давления) воздуха на постоянной нагрузке. Исследования проводились на котле ДКВР-20/13 с использованием рассматриваемого многокомпонентного газоанализатора. Из графика видно, что на грани химнедожога малейшее (возможное для регулятора данного котла) изменение расхода воздуха приводит к резкому скачку концентрации оксида углерода. При этом содержание кислорода в отходящих газах меняется незначительно. Колебания значений концентрации CO на грани химнедожога имеют очень ярко выраженный характер и связаны как с динамикой процесса горения, так и с невозможностью тонкой регулировки подачи воздуха и нестабильностью его потока.

Появление химнедожога характеризуется резким скачком концентрации CO, что предъявляет особые требования к контроллеру и алгоритму регулирования. Для того чтобы эффективно вести процесс регулирования с различными типами регуляторов и исполнительных механизмов контроллер должен быть настроен

не на поддержание определенной концентрации CO в дымоходе, а на обеспечение режима горения на грани появления химнедожога, циклически снижая расход воздуха до появления всплеска концентрации CO с последующим минимальным увеличением расхода воздуха, дабы избежать химнедожога.

В качестве примера реализации такого алгоритма можно привести работу контроллера отечественного производства в комплекте с представленным выше газоанализатором на котле ДКВР-20/13 (рис. 3). Как видно на графике, контроллер позволяет задавать скорость снижения расхода воздуха (T2 и T4), величину «отскока» расхода воздуха при появлении химнедожога (T5), а также время нечувствительности (T6), в течение которого контроллер поддерживает расход воздуха постоянным, после чего опять начинает его снижение. Обычно, весь цикл «снижение-отскок-поддержание» составляет от 2 до 5 мин и определяется пользовательскими настройками в зависимости от типа топливосжигающего агрегата.

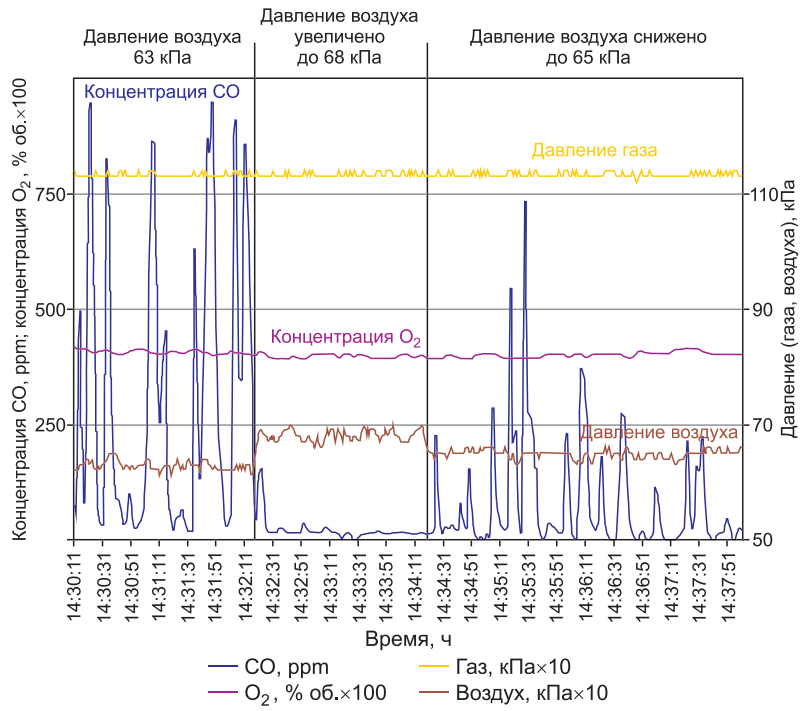

Рис. 2. Зависимость концентрации O_2 и CO от соотношения газ-воздух.

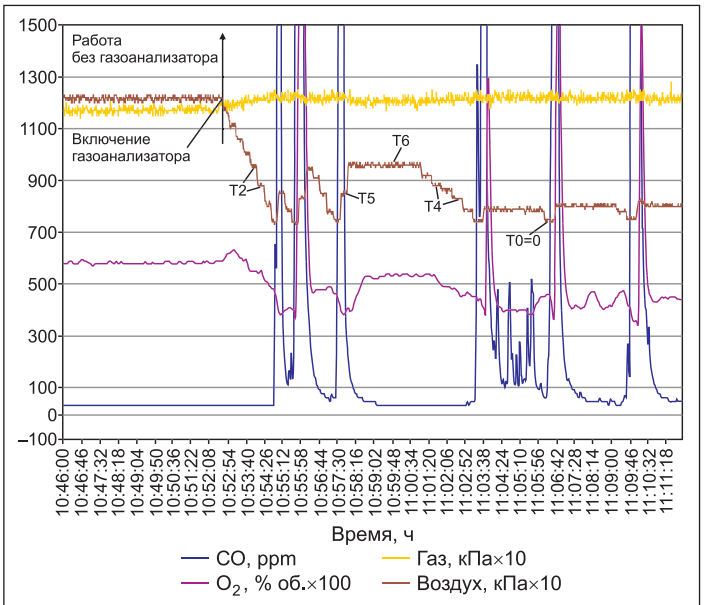

Рис. 3. Диаграмма изменения параметров работы котла ДКВР-20/13 при включении системы автоматического регулирования на базе контроллера «Спекон» в комплекте с газоанализатором «Ангор-С».

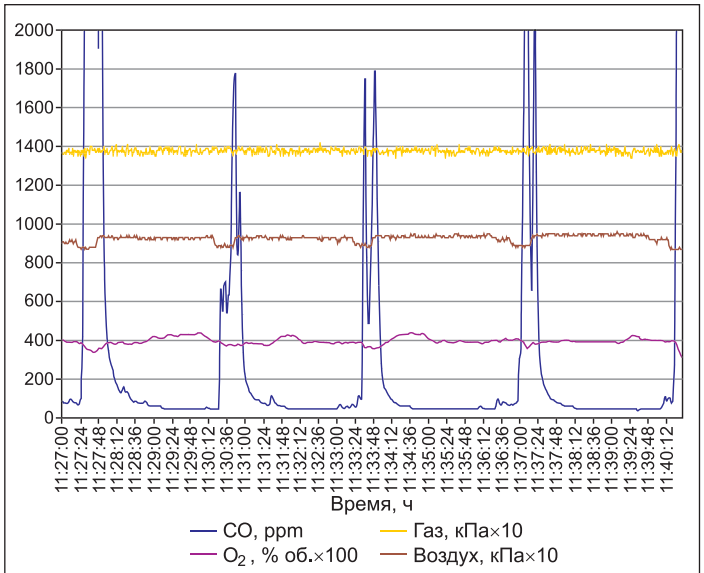

Рис. 4. Диаграмма изменения параметров работы котла ДКВР-20/13 при использовании системы автоматического регулирования на постоянной нагрузке.

Из рис. 3 следует, что после включения газоанализатора в процесс регулирования контроллер постепенно снизил давление воздуха, подаваемого на горение приблизительно со 120 до 80 кПа (до появления всплеска концентрации CO), и стал приводить соотношение топливо-воздух к оптимальному значению для данных условий горения.

Пример работы системы регулирования при постоянной нагрузке в стационарных условиях приведен на рис. 4. При изменении нагрузки котла система сама «ищет» новое оптимальное соотношение топливо-воздух (рис. 5).

Такой подход позволяет вести процесс сжигания топлива наиболее оптимальным образом на всех режимах, при практически любых изменениях условий эксплуатации и с любыми регуляторами и исполнительными механизмами. Он особенно эффективен при применении в котлах малой мощности, поскольку является самоадаптивным, т.е. фактически самостоятельно в процессе работы корректирует режимную карту. В табл. 2 представлены параметры работы котла ДКВР-20/13 и результаты экономии топлива при различной тепловой нагрузке. Из таблицы видно, что экономия топлива может составлять от 2,5 до 6%. Опыт эксплуатации таких систем регулирования на мощных энергетических котлах показывает несколько меньшую экономию в процентном выражении, но учитывая объемы потребления газа, экономия оказывается значительной. Например, испытания на Казанской ТЭЦ, проводимые в марте 2011 г., показали, что при нагрузке 234 т пара в час применение регулирования «на грани появления химнедожога» позволило вырабатывать на 1,5% больше пара при том же расходе газа, что составило экономию топлива – 260 м^3/ч.

Таблица 2. Экономическая эффективность оптимизации режимов горения на примере котла ДКВР-20, работающего в котельной 2-я Красносельская ЮЗФ ТЭК СПб (котел № 4).

Теплопроизводительность, Гкал/ч (%)	7,2 (59%)	9,1 (74%)	10,2 (83%)	11,1 (91%)	12,5 (102%)
Измеренный коэффициент избытка воздуха, α	1,9	1,83	1,68	1,47	1,42
Расход газа, м^3/ч	947	1197	1342	1460	1644
Необходимый объем воздуха для сгорания газа, м^3/ч	9015	11395	12776	13899	15651
Реально расходуемый объем воздуха, м^3/ч	17129	20854	21463	20432	22224
Расходуемый объем воздуха при оптимизации объемов горения (α=1,05)	9466	11965	13415	14594	16433
Объем избыточного воздуха, м^3/ч	7663	8888	8049	5838	5791
Количество теплоты, идущее на нагрев избыточного воздуха, ккал/ч	451824	524070	474562	344193	341432
Перерасход газа, м^3/ч	59	69	62	45	45
Возможная экономия за 330 дней работы, тыс. руб.	1645	1911	1729	1250	1250

В заключение необходимо упомянуть, что описанный в статье метод регулирования пригоден для использования на различных типах котлов (как водогрейных, так и энергетических), работающих на газообразном и жидком топливе. Для угольных котлов, ввиду того, что горение угля является гораздо более сложным процессом, зависимость концентрации CO от соотношения топливо-воздух имеет индивидуальный характер и определяется:

- особенностями конструкции котлоагрегата;
- процедурой подготовки топлива;
- характеристиками используемых углей.

Рассмотрение особенностей оптимизации топливосжигания в угольных котельных выходит за рамки данной статьи и будет проведено в отдельной работе.

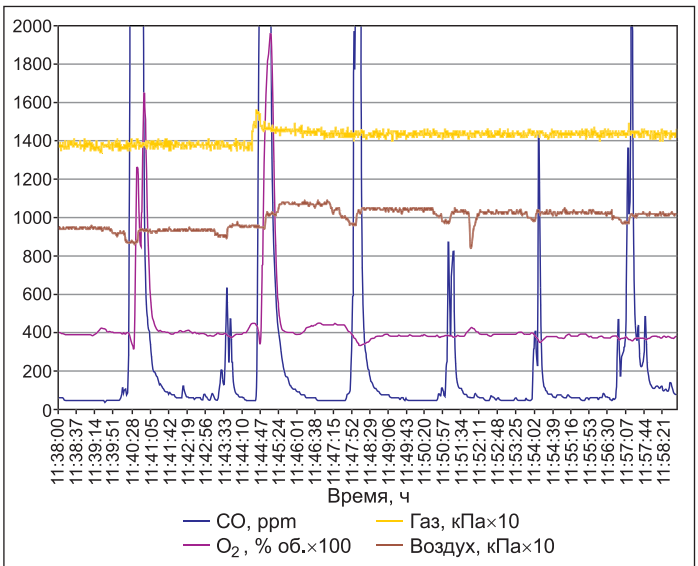

Рис. 5. Диаграмма изменения параметров работы котла ДКВР-20/13 при использовании системы автоматического регулирования во время ступенчатого изменения нагрузки.

Выводы

1. Современная инструментальная база позволяет реализовать эффективные механизмы регулирования процесса горения в топках котлов при использовании для регулирования непрерывного контроля эмиссии оксида углерода.

2. Для обеспечения тонкой регулировки режимов подачи воздуха необходимо использование соответствующих исполнительных механизмов (предъявляются жесткие требования к точности исполнительных механизмов).

3. Наиболее эффективным методом регулирования режима горения является использование сразу двух каналов регулирования – по CO (основной канал регулирования) и по O_2 (контрольный канал соответствия режимной карте), для чего разработаны соответствующее техническое обеспечение и алгоритмы управления.